

Roland Lehoucq

Le collège de la cité

Faire de la science avec STAR WARS™



Coéditée par les Éditions Le Pommier et la Cité des sciences et de l'industrie, la collection « Le collège de la cité » reprend, chaque année, une douzaine des conférences données dans le cadre du *Collège de la Cité des sciences et de l'industrie*.

Dans le même esprit – construire les outils d'une culture scientifique partagée et nourrir le dialogue science/société –, les textes, simples et originaux, sont élaborés spécialement pour la collection, sous la forme de petits ouvrages accessibles.

Roland Lehoucq

Faire de la science avec

STAR
WARS

mise en pages : Marina Smid
relecture : Élisabeth Bélorgey

N°ISBN 2-7465-0259-3
Éditions Le Pommier, 239, rue Saint-Jacques, 75005 Paris

Introduction

Existe-t-il encore quelqu'un qui n'ait pas vu (et revu !) les épisodes de *Star Wars (La Guerre des étoiles* en français), la saga de science-fiction la plus célèbre du cinéma ? Au moment où j'écris ces lignes, les six films qui la constituent sont déjà sortis en salle. Dans tout *space opéra* de bonne facture, la technologie foisonne et *Star Wars* ne déroge pas à la règle. Et si la forme de nombreux objets n'est pas sans rappeler certaines images de la Seconde Guerre mondiale (les blasters – pistolets-laser des rebelles –, les casques des troupes de l'Empire, le costume des officiers impériaux, les tourelles de tir d u *Faucon Millenium*, etc.), les capacités techniques des protagonistes sont à l'évidence largement supérieures aux nôtres. Pourtant, certaines réalisations ont un air de déjà-vu et paraîtraient assez plausibles de nos jours. Aussi nous sommes-nous posé la question suivante : dans *Star Wars,* est-il possible de faire la part de la science et de la fiction, celle du rêve et de la réalité ? Bien sûr, il n'est pas question de briser l'imaginaire par des considérations par trop rationnelles, mais plutôt de porter sur cette œuvre un autre regard, plus dynamique, en cherchant à comprendre l'envers du décor grâce à la science. Mais, avouons-le, il s'agit aussi et surtout de s'amuser en faisant de la physique !

Nous allons donc nous livrer, pour le plus grand bien de nos neurones, à une petite analyse scientifique de cet univers. Si, faute de place, n'ont été ici retenus que les thèmes les plus marquants, notre champ d'investigation est néanmoins fort

vaste : la Force et le sabre-laser (incontournables !), l'*Étoile de la Mort* (archétype de l'arme absolue dont rêvent tous les super-méchants), les véhicules (il y en a de toutes tailles et de tous usages) et les planètes, dont la célèbre Tatooine et son soleil double. « Que la Force soit avec vous ! », vous risquez d'en avoir besoin…

La Force

La Force est la mystérieuse et puissante source du pouvoir des chevaliers Jedi. Mais quelle est exactement sa nature ? Dans l'épisode IV, « Un nouvel espoir », Obi-Wan Kenobi, le célèbre chevalier Jedi, la définit ainsi : « C'est un champ d'énergie créé par tous les êtres vivants. Il nous entoure et nous pénètre. Il lie la galaxie tout entière. »

Pour un physicien, ces quelques mots sont très évocateurs. Examinons par exemple la notion de champ. Elle émergea au XIXe siècle, quand les savants cherchèrent une explication physique à la façon dont une charge électrique ou un aimant peuvent agir à distance, sans aucun contact, avec une autre charge ou un autre aimant. Cette question était d'importance car, à cette époque, il semblait impossible que l'action d'un objet sur un autre puisse se faire autrement que par un contact direct. La question était encore sujette à controverse, surtout depuis qu'Isaac Newton (1642-1727) avait brisé le tabou en introduisant sa force de gravitation, capable de s'exercer, à travers l'espace, entre deux corps éloignés. Le physicien anglais Michael Faraday (1791-1867) proposa qu'une charge électrique produit autour d'elle un champ invisible s'étendant dans tout l'espace. Ce champ agit sur les charges électriques qui le rencontrent, ce qui se traduit par l'action d'une force sur celles-ci. L'action à distance entre deux charges se ramène ainsi à une action de contact entre l'une des deux charges et le champ de la seconde. Et le tour est joué ! Le concept de champ s'étend facilement à la force gravitationnelle

de Newton et à la force magnétique entre aimants. L'idée de champ s'applique aussi magnifiquement à la Force. Si les Jedi peuvent agir à distance sur des objets, c'est parce qu'ils sont capables de manipuler un champ, un champ d'énergie d'après Obi-Wan. Cela semble logique car, en physique, l'énergie est précisément le moyen qui permet d'agir sur les choses ou de les transformer. Ainsi, pour déplacer une chaise, il faut lui fournir de l'énergie – en général, ce sont les muscles des bras qui s'en chargent. C'est la même chose pour propulser une voiture – dans ce cas, c'est la combustion de l'essence dans le moteur qui fournit l'énergie nécessaire à ce mouvement. Pour soulever à distance le chasseur de Luke dans les marais de Dagobah, Yoda lui fournit de l'énergie en manipulant le champ associé à la Force. Tout cela semble clair et logique, non ?

Une Force déjà connue ?

Évidemment, il reste à trouver la source de ce champ et de cette énergie. Cette question ne doit pas être négligée car, dans la nature, chaque effet a une cause qui lui est associée.

Sans source identifiée, la Force s'apparenterait dangereusement à de la magie. D'ailleurs, la sagesse populaire ne s'y trompe pas : tout le monde sait qu'il n'y a pas de fumée sans feu.

Selon Obi-Wan Kenobi, la Force trouverait sa source dans les êtres vivants, tout comme le champ électrique trouve la sienne dans les charges électriques. La première idée qui vient à l'esprit à la suite de cette affirmation est très simple : la Force est un avatar du champ de gravitation. Cette solution

est tout à fait envisageable, car les êtres vivants créent effectivement un champ de gravitation. Rien de glorieux à cela, puisque c'est aussi le cas de n'importe quel morceau matière, qu'il soit grain de sable, planète ou chevalier Jedi. La dernière information livrée par Obi-Wan nous pousse aussi dans ce sens : c'est effectivement la gravitation qui lie entre elles les étoiles d'une galaxie. Le puzzle semble bien s'ajuster… Pourtant, il y a une mauvaise nouvelle : le champ de gravitation créé par les êtres vivants de notre galaxie est très largement insuffisant pour lier les quelque cent milliards étoiles quelle contient, même si l'on tient compte, à tout hasard, d'une bonne quantité d'extraterrestres obèses. C'est le champ de gravité de toute la matière d'une galaxie – notamment des étoiles et du gaz interstellaire qu'elle contient – qui lui donne sa cohésion. Et puis, si la Force n'était qu'une manifestation de la gravitation, pourquoi la nommer différemment et faire tout ce foin autour d'elle ? Non, il doit y avoir une autre explication.

Réfléchissons davantage. De quelle autre sorte de champ un être vivant pourrait-il être la source ? D'un champ électrique bien sûr ! Il suffit de toucher un poisson torpille pour se convaincre que certains animaux sont même capables d'en produire d'importants. Par ailleurs, c'est bien le champ électrique de notre cerveau que l'on mesure dans un électro-encéphalogramme, même s'il est plutôt faible. Malheureusement, la matière d'une galaxie n'est pas liée par un quelconque champ électrique. Alors, peut-être faut-il prendre la phrase d'Obi-Wan au sens figuré : la Force joue le rôle d'un lien entre tous les êtres vivants de la galaxie, une sorte de téléphone mobile galactique en quelque sorte… Une scène de l'épisode VI, « Le retour du Jedi », va dans le sens de l'hypothèse du champ électrique : l'empereur Palpatine tente de convaincre Luke Skywalker de le rejoindre du côté obscur de la Force. Devant la résistance de ce dernier, il le torture,

puis tente de le tuer en le frappant avec des éclairs émis par les extrémités de ses doigts (ce pouvoir spécifique du côté obscur est aussi utilisé par le Comte Dooku dans l'épisode II et, une nouvelle fois, par l'Empereur dans l'épisode III). Dans ce cas, l'Empereur fait appel à la Force pour se transformer en un puissant générateur électrique !

En effet, les éclairs qui illuminent vivement le ciel durant un orage résultent de l'action d'un champ électrique intense créé entre les nuages et le sol. Sous l'action de ce champ, les molécules de l'air sont brisées, libérant ainsi essentiellement des atomes d'oxygène et d'azote. Mieux, un champ électrique suffisamment fort peut même arracher certains des électrons de ces atomes. L'air devient alors conducteur et un éclair frappe le sol. Le champ électrique nécessaire pour produire ce phénomène d'ionisation de l'air est si grand – l'éclair formé par l'action de l'Empereur est si long – que tout se passe comme s'il était branché à un générateur de quelques millions de volts !

Par ailleurs, la position que prend Palpatine pour foudroyer Skywalker, doigts écartés et tendus vers l'avant, va tout à fait dans le sens de notre hypothèse : en effet, le champ électrique est beaucoup plus intense au voisinage des extrémités pointues, ce qui facilite diablement la production de la décharge électrique. À l'inverse, constatons que la foudre se dirige volontiers vers la pointe d'un paratonnerre. Ce phénomène peut être constaté dans la fameuse salle d'électrostatique du palais de la Découverte, à Paris. Un spectateur isolé du sol et branché à un générateur de 300 000 volts braque ses doigts tendus aux extrémités desquels le public peut aisément observer des aigrettes lumineuses de plusieurs centimètres de long. L'Empereur ne serait-il qu'un puissant générateur électrique et la Force qu'une version amplifiée du champ électrique ? Non, confusément, nous

sentons bien que quelque chose de plus mystérieux doit être à l’œuvre…

Un peu d’histoire

Finalement, retenons le point essentiel de la définition que nous donne Obi-Wan Kenobi : la Force est une entité physique qui remplit tout l’espace et relie toutes choses. De ce point de vue, la Force n’est pas uniquement un moyen de réaliser quantité d’actions amusantes, comme déplacer des vaisseaux spatiaux embourbés ou ratatiner quelques droïdes de combat, elle plonge aussi ses racines dans les plus anciennes interprétations du monde. Elle rappelle notamment la quintessence, le fameux cinquième élément dont Aristote remplissait les cieux pour compléter l’action de l’air, de la terre, de l’eau et du feu. Cette quintessence avait de bien étranges propriétés : elle était increéée, inaltérable, invisible, omniprésente. Élément d’une autre nature que celle des quatre éléments terrestres, elle traduisait la profonde différence entre la terre et le ciel. Objet d’étude et de réflexion pendant près de deux millénaires, on renonça à la quintessence au XVIIe siècle, en même temps que fut abandonnée toute la physique d’Aristote. Encore un candidat perdu…

Mais voilà que, au XIXe siècle, resurgit une sorte de quintessence aristotélicienne. À cette époque, les physiciens se représentaient l’espace comme une coquille vide. Selon eux, la lumière ne pouvait s’y propager que s’il était empli d’un milieu particulier qu’ils nommaient « éther », qui permettait cette

propagation. Ils considéraient que les ondes lumineuses se propageaient dans l'éther à la façon des ondes sonores dans l'air. La vitesse mesurée d'une onde sonore dépend de la vitesse à laquelle se déplace celui qui fait la mesure. Cela se manifeste par des différences de perception de la fréquence d'un son émis par une source mobile : le bruit du moteur d'une voiture passe de l'aigu quand elle s'approche au grave quand elle s'éloigne. Comme la Terre, qui est en mouvement autour du Soleil, se déplace par rapport à l'éther, les physiciens s'attendaient donc à trouver différentes valeurs pour la vitesse de la lumière en fonction du moment ou de la direction selon lesquels elle était mesurée. En 1887, les physiciens Albert A. Michelson (1852-1931) et Edward W. Morley (1838-1923) montrèrent que la vitesse de la lumière, qui vaut à peu près 300 000 km/s, prend la même valeur quelle que soit la direction selon laquelle elle est mesurée depuis la surface de la Terre. Ce résultat participa à invalider la théorie de l'éther et imposa l'idée que la lumière pouvait se propager dans le vide, sans aucun support matériel. L'abandon de l'éther nous prive une nouvelle fois d'une explication de la Force…

Un détour par le vide…

La Force et son omniprésence évoquent enfin l'une des idées les plus fascinantes de la physique moderne : l'énergie du vide. Remarquable oxymore : comment le vide pourrait-il avoir une énergie ? Le vide, pour l'homme (et la femme) de la rue, c'est d'abord le résultat d'une action, celle d'ôter d'une région de l'espace toute la matière qu'elle contient (pensez à l'expression « faire un rangement par le vide »). Pour être

complet, la physique nous dit qu'il faut aussi se débarrasser de la lumière. Et après ? La région traitée devrait avoir perdu tout intérêt puisque plus rien ne s'y trouve. Et pourtant, quantité de choses s'y produisent ! Au début du XXe siècle fut élaborée une théorie des phénomènes microscopiques connue sous le nom de mécanique quantique. Dans ce cadre, le vide se définit simplement : c'est une configuration particulière de l'état des champs, celle de plus basse énergie, qui n'est donc pas forcément nulle. En mécanique quantique, l'énergie d'un système n'est pas constante, mais peut fluctuer tout en respectant une condition : le produit de la variation d'énergie de la fluctuation et de sa durée doit être supérieur à une certaine constante. En clair, il est possible d'« emprunter » une quantité d'énergie quelconque à un système, le vide par exemple, à condition de la « rembourser » assez vite, d'autant plus vite que la quantité empruntée est grande.

Ces fluctuations du vide ont des conséquences expérimentales bien connues des physiciens : un atome isolé placé dans une enceinte vide n'interagit qu'avec les fluctuations du vide ; entraîné vers un état excité par une impulsion lumineuse, il va spontanément redescendre vers son état fondamental en émettant de la lumière. C'est le couplage de l'atome avec les fluctuations du vide qui est responsable de ce processus d'émission spontanée. Les fluctuations quantiques de ce vide nouvelle manière ont aussi une manifestation macroscopique mesurable. En 1948, le physicien néerlandais Hendrik Casimir (1909-2000) montra que deux plaques conductrices placées dans le vide s'attirent mutuellement et interpréta cette attraction comme la manifestation des fluctuations du vide.

Peut-on espérer extraire de l'énergie du vide ? La Force pourrait-elle être une manifestation de ces fluctuations ? Le réalisme scientifique impose de donner une réponse négative

ou pour le moins réservée. D'abord, le vide étant, par définition, l'état d'énergie minimum, il semble difficile d'en extraire de l'énergie. Si c'était possible, cela signifierait que son énergie n'est pas minimale. Des méthodes théoriques ont pourtant suggéré de se servir de l'effet Casimir pour extraire de l'énergie du vide, l'énergie de la région située entre les plaques de l'expérience pouvant être considérée comme plus basse que celle de la région extérieure aux plaques. Mais, pour l'instant, ces idées en sont encore au stade de l'exercice théorique pour physicien joueur.

… pour en arriver à l'Univers

Vers la fin des années 1920, l'astronome américain Edwin Hubble (1889-1953) constata que toutes les galaxies lointaines semblaient s'éloigner de la nôtre. Cette observation fut interprétée comme une preuve de l'expansion de l'Univers et elle donna un fondement aux modèles du big-bang. Depuis une dizaine d'années, il semble acquis que cette expansion s'accélère. Cela est surprenant, car il semble que la matière, qui engendre une force de gravité attractive, aurait plutôt tendance à ralentir l'expansion de l'Univers. Pour rendre compte d'une accélération, il faut invoquer la présence d'une quantité physique capable de contrer le jeu de la gravité. C'est le rôle de la constante cosmologique, initialement introduite par Albert Einstein (1879-1955) qui souhaitait construire un modèle d'Univers invariant dans le temps. Il la désavoua plus tard, au moment de la découverte de l'expansion de l'Univers par Hubble.

Du point de vue pratique, la constante cosmologique (aussi appelée *dark energy*, « énergie noire », par les Anglo-Saxons, ce qui fait penser au *dark side,* « côté obscur » de la Force) peut être associée à un fluide remplissant tout l'espace et dont l'énergie est négative, en opposition à la matière dont l'énergie est positive ; c'est une sorte d'« antigravité » donc. Voilà un candidat idéal pour expliquer les manifestations de la Force ! Il est même possible d'être plus quantitatif, car les données collectées par le satellite WMAP *(Wilkinson Microwave Anisotropy Probe*) ont permis de préciser la valeur de la constante cosmologique. Elle est non nulle, mais si ridiculement petite que, pour soulever R2D2 d'un mètre au-dessus du sol de Dagobah, comme il le fait lors de son entraînement, Luke doit mentalement collecter l'énergie contenue dans un cube de près de 9 km de côté. On comprend aisément qu'il lui faille quelques minutes de concentration…

Finalement, la Force pourrait bien être avec nous, mais quant à l'utiliser, c'est une autre paire de manches…

Le sabre-laser

Existe-t-il un objet plus emblématique que le sabre-laser dans *Star Wars* ? Arme noble par excellence, le sabre-laser représente l'alliance étonnante d'une technologie futuriste et du féodalisme moyenâgeux qui prévaut encore dans la saga. Qui n'a pas rêvé de posséder ou de construire un sabre-laser ? Voyons si la physique actuelle est capable d'en percer les mystères et interrogeons-nous sur ce qu'est un sabre-laser et sur ce qu'il n'est pas. Mais tout d'abord, s'agit-il vraiment d'un laser ?

Une arme improbable

D'emblée, il faut nous rendre à l'évidence : le sabre-laser, arme imaginaire, est pétri de contradictions. Bien sûr, ces sabres se manipulent comme leurs équivalents terrestres et leurs lames se heurtent bruyamment. Quel serait en effet l'intérêt d'un sabre inutilisable pour exécuter les attaques et les parades de l'escrime occidentale ou du kendo japonais ? Mais la « matérialité » des lames de lumière pose un grave problème, car deux faisceaux lumineux se croisent sans opposer la moindre résistance : la lumière n'est pas de même nature que la matière.

Et, comme si cela ne suffisait pas, il nous faut aussi régler le problème de la source d'énergie du sabre-laser. Les sources officielles indiquent que ce dernier est alimenté par des cristaux que l'on trouve sur la planète Ilum. Au vu des dégâts qu'il peut causer, le sabre-laser est certainement doté d'une batterie de très grande capacité. Quand on voit l'autonomie ridicule de nos téléphones portables, qui font des choses nettement moins ambitieuses qu'un sabre-laser, on se convainc aisément qu'il n'existe encore aucune batterie capable d'alimenter un sabre-laser digne de ce nom, tout en tenant dans son manche. Mais sait-on jamais ? Au vu de l'énorme engin qu'était le premier laser, construit en 1960, personne n'aurait cru qu'il serait un jour possible de réaliser de minuscules pointeurs laser. Or cet instrument existe bel et bien : il est même parfaitement capable de détruire la rétine d'un œil… Et n'oublions pas que les Jedi sont directement branchés sur la Force, qui semble être une immense source d'énergie.

Troisième souci : les lames des sabres devraient être quasiment invisibles. En effet, à la différence d'une ampoule électrique classique, la lumière d'un laser ne s'éparpille pas dans l'espace, mais reste contenue dans un faisceau dont l'angle d'ouverture est très petit. Cette excellente directivité du laser est justement l'un de ses atouts les plus précieux. Ainsi, le faisceau laser ne sera vu que si sa direction de propagation rencontre notre œil. Cette configuration est à éviter absolument, car l'intensité lumineuse d'un laser, même de faible puissance, est telle que notre rétine ne s'en sortirait pas sans dommages.

Comment se sortir de cette impasse ? Il faudrait qu'une partie de la lumière du faisceau laser soit forcée de sortir « sur le côté ». Une solution consiste à saupoudrer le faisceau de fines particules de poussière, de la craie par exemple. En

diffusant la lumière, elles matérialiseront le faisceau. Ce phénomène s'observe facilement dans une pièce sombre dans laquelle pénètre un rayon de soleil : il est vu grâce à la lumière diffusée sur les côtés par les poussières qui virevoltent dans l'air de la pièce. Puisque l'on distingue nettement les lames des sabres, c'est que l'atmosphère des vaisseaux de l'Empire est très poussiéreuse. Il est urgent que Dark Vador mette bon ordre dans cet intolérable laisser-aller ménager !

Oublions quelques instants les points évoqués précédemment. Il reste encore à résoudre un problème technique crucial : comment limiter la longueur de la lame d'un sabre ? Imaginons un duel se déroulant dans un vaisseau spatial, comme celui qui oppose Luke et Dark Vador dans l'épisode V, « L'Empire contre-attaque ». Luke active son sabre dont la lame se développe jusqu'à atteindre le plafond de la pièce du duel. En effet, un faisceau lumineux se propage en ligne droite tant qu'il ne rencontre pas d'obstacle qui le réfléchisse, le réfracte ou l'absorbe. Que se passe-t-il alors ? Si le sabre-laser est aussi puissant qu'on le dit, la lame perfore le plafond, puis le suivant et ainsi de suite, jusqu'à découper la paroi de la cité des Nuages. Gênant. Pour que les bretteurs galactiques ne sombrent pas dans le ridicule, il faut absolument que la lame de leur sabre ait une longueur raisonnable.

Peut-on sauver la situation ?

Les plus bricoleurs d'entre nous ont déjà imaginé une solution : se débrouiller pour placer un miroir en regard de

l'orifice de sortie du laser, de sorte qu'il se réfléchisse en sens opposé. Bonne idée, mais comment faire tenir le miroir ? Tout simplement en le fixant à l'extrémité d'une tige télescopique qui se déroule lors de l'activation du sabre. Malheureusement, l'usage de l'arme est alors malaisé : couper en deux un droïde de combat nécessite de donner un coup de taille par la gauche, puis un autre par la droite, parce que cette tige gêne le mouvement complet. Et puis, il ne faudrait pas que la tige de support se brise, sinon la lame prendrait la longueur maximale compatible avec le lieu du combat, et adieu plafond !

Une autre solution existe. L'idée consiste à garder une lame de grande longueur tout en limitant la zone où l'intensité lumineuse serait dangereuse. Pour cela, il suffit de placer une lentille convergente – une sorte de loupe-sur la trajectoire du faisceau. Les rayons lumineux convergent alors vers le point focal de la lentille avant de poursuivre en divergeant. Au point focal, l'intensité du faisceau sera bien plus élevée qu'en dehors, car tous les rayons du faisceau – donc toute son énergie – y seront concentrés. En revanche, l'intensité lumineuse sera d'autant plus faible que l'on s'éloignera du foyer. Pour nous convaincre de l'efficacité de la méthode, rappelons-nous comment, par un jour bien ensoleillé, il est facile de faire brûler des feuilles sèches avec une simple loupe. Il suffit de placer cette dernière de sorte que la tache de lumière projetée sur la feuille soit la plus petite possible : la loupe concentre alors toute la lumière dans cette tache et la feuille commence à se carboniser. Et il suffit de déplacer la feuille en dehors du foyer de la loupe pour que l'effet cesse immédiatement.

La focalisation d'un faisceau laser est couramment utilisée dans l'industrie pour la découpe précise de pièces métalliques ou de plastique. Une lentille fait converger le laser sur la surface du plan à découper. En dehors de ce plan, le faisceau diverge et s'atténue rapidement. Un laser de faible puissance

permet de découper des plaques métalliques de quelques centimètres d'épaisseur avec une rapidité et une précision que les Jedi envieraient. Pour améliorer notre sabre-laser, il suffirait donc de le munir d'une lentille dont la longueur focale serait de l'ordre de un mètre. Combinée avec une source laser de forte puissance, cela devrait permettre d'obtenir un faisceau lumineux d'une grande intensité sur une longueur limitée, autour du point focal de la lentille. Si cela semble pouvoir fonctionner, ce système évoque davantage un couteau qu'un sabre. Mais il permet au moins de couper un soldat de l'Empire en deux sans faire un trou au plafond en même temps. Il reste néanmoins quelques menus inconvénients. D'abord, le problème de la matérialité de la lame n'est pas résolu. Ensuite, je vous déconseille vivement de braquer votre beau couteau-laser vers une surface réflectrice concave, style miroir grossissant de salle de bains : le faisceau divergent pourrait être refocalisé et endommager le « quelque chose » qui se trouve devant le miroir, peut-être vous. Je me permettrai donc de vous donner un bon conseil : évitez de vous battre avec ce truc dans une salle de bains ou une galerie des glaces…

Un sabre-plasma ?

Après avoir joué mon rôle de scientifique rabat-joie, je vais maintenant tenter d'être plus constructif. Abandonnons donc l'idée du laser, puisqu'elle semble si fortement compromise, et voyons s'il est possible de concevoir une arme ayant les mêmes caractéristiques, mais en se fondant sur d'autres principes. Une idée plutôt intéressante serait d'utiliser un

plasma confiné par un champ magnétique astucieusement disposé. Avant d'examiner les détails techniques, voyons d'abord ce qu'est un plasma. Souvent appelé quatrième état de la matière (les trois autres étant les états solide, liquide et gazeux), le plasma est un gaz dans lequel les atomes ont perdu un ou plusieurs de leurs électrons. Cette ionisation peut être obtenue, par exemple, en chauffant fortement ce gaz : sous l'effet de la chaleur, les collisions entre atomes deviennent si violentes que des électrons leur sont arrachés. Nous sommes environnés de plasmas. Il suffit d'ailleurs qu'il fasse beau pour voir briller dans le ciel la plus grosse boule de plasma qu'il nous soit donné de contempler de ce côté-ci de l'Univers... Les éclairs, qui résultent de l'ionisation de l'air sous l'effet de l'intense champ électrique établi entre un nuage et le sol, en sont un autre exemple, comme nous l'avons déjà vu. Dernier exemple de plasma, celui d'un tube au néon : il contient un plasma obtenu par des décharges électriques adéquates, dont le rayonnement lumineux est utilisé pour l'éclairage. Un néon est d'ailleurs un bon moyen de bricoler un sabre-laser plus vrai que nature, avec le défaut évident pour un chevalier Jedi que, à part aveugler l'adversaire, cela ne lui fera guère de mal. De plus, et cela ne vous aura sans doute pas échappé, le plasma d'un néon est contenu dans un cylindre de verre plutôt fragile. Attention aux chocs...

Premier avantage d'un plasma : comme un laser, il est relativement facile de lui donner la couleur que l'on souhaite ; il suffit pour cela de choisir habilement la température et le gaz qui fournira le plasma. Une température élevée, disons de l'ordre de 10 000°C, donnera plutôt une couleur bleutée tandis qu'une température de l'ordre de 2 000 à 3 000°C semblera plus rouge. Côté gaz, le sodium donnera une belle couleur orangée et le mercure produira une teinte plus blanchâtre. Nos Jedi n'ont donc que l'embarras du choix. Second avantage : le plasma rayonne de la lumière dans toutes

les directions. Il n’est pas nécessaire de secouer des tapis dans les vaisseaux spatiaux pour rendre visible la lame d’un sabre-plasma.

Inutile de le cacher, l’utilisation d’un plasma chaud dans l’air ne va pas sans poser quelques problèmes. D’abord, la température du plasma doit être maintenue en permanence. Tout refroidissement fournit aux électrons et aux noyaux l’occasion de se recombiner pour former à nouveau des atomes complets, neutres, et faire ainsi disparaître l’état de plasma. Par ailleurs, il faut aussi compenser en permanence l’hémorragie d’énergie résultante de l’appréciable quantité de lumière rayonnée par le gaz, faute de quoi il se refroidirait. Enfin, il faut avoir une réserve de gaz suffisante pour produire un jet continu de plasma. Il est envisageable d’obtenir un jet d’une dizaine de centimètres de long et d’une température de 10 000°C à partir d’un générateur d’énergie de taille raisonnable délivrant une puissance de quelques dizaines de kilowatts, à condition toutefois de pomper plusieurs dizaines de litres d’air par minute. Dix centimètres de long, cela nous donne à nouveau un couteau plutôt qu’un sabre. Qu’à cela ne tienne ! Voyons du côté de l’industrie aérospatiale, qui possède une torche à plasma dont le jet mesure près de un mètre. Cette torche fut utilisée pour tester le bouclier thermique de la défunte navette européenne *Hermès*. L’inconvénient de cet objet, c’est qu’il faut un générateur de six mégawatts pour l’alimenter et qu’il consomme plusieurs mètres cube d’air à chaque minute. Dernier détail : le tout pèse quelques tonnes. Pas facile à faire tenir dans une poche de Jedi… Encore une fois, remercions la Force de fournir l’énergie nécessaire au maintien du plasma.

On vient de le dire, dix centimètres de lame, c’est un peu court. Pour améliorer cet aspect, il suffit d’étirer le jet de plasma, en le forçant à épouser la forme d’une sorte de

bouteille magnétique. Pourquoi utiliser un champ magnétique ? Tout simplement parce qu'un plasma est un gaz constitué de particules ayant une charge électrique (les atomes ayant perdu des électrons sont chargés positivement et les électrons sont chargés négativement) et donc sensibles à l'action d'un champ magnétique. Confiner durablement un plasma est une opération que les chercheurs tentent de réaliser en vue de contrôler des réactions de fusion thermonucléaire. Le réacteur expérimental ITER, qui doit être implanté dans quelques années en France, près de Cadarache, est précisément construit pour conduire, entre autres, de telles expériences. Le plasma au sein duquel doivent se produire les réactions thermonucléaires est confiné dans un champ magnétique en forme de chambre à air de bicyclette. En ce qui concerne notre sabre-plasma, il suffirait d'ioniser de l'air (grâce à l'énergie empruntée à la Force, bien sûr) avant de l'injecter dans le volume de confinement de forme allongée délimité par le champ magnétique. Celui-ci serait créé par de puissants électroaimants intégrés à la poignée du sabre.

Outre le fait de confiner et de donner forme au plasma, le champ magnétique a un autre avantage décisif. Pour le comprendre, faisons une expérience. Prenons deux des aimants qui tiennent la liste des courses sur le réfrigérateur de la cuisine et approchons-les l'un de l'autre : ils s'attirent mutuellement. Retournons-en un et recommençons : maintenant, les aimants se repoussent. À quoi ce phénomène amusant est-il dû ? C'est tout simple : un aimant possède deux pôles, généralement nommés « nord » et « sud » et, si les pôles opposés s'attirent, les pôles de même nature se repoussent. Ainsi, l'aiguille de la boussole, qui est un petit aimant, pointe son pôle nord vers le pôle magnétique sud de la Terre, qui se trouve être voisin du pôle Nord géographique. Si l'on considère qu'une lame de sabre-plasma est analogue à une sorte d'aimant (en plus compliqué bien sûr…), il suffit que les

polarités des deux lames soient identiques pour qu'elles se repoussent et donnent l'illusion qu'elles sont matérielles ! Évidemment, il faut qu'auparavant tous les possesseurs de sabre-plasma de la galaxie se soient mis d'accord pour adopter une polarité commune sinon, au lieu de se repousser, les lames vont s'attirer ! Le combat risque de perdre beaucoup en intensité…

Ce sabre nouvelle manière se comporterait plus ou moins comme le font les sabres-laser de *Star Wars*. En particulier, l'exploit de Qui Gong Jin qui, dans l'épisode I, « La menace fantôme », réussit à percer une épaisse porte métallique grâce à son sabre-laser, s'explique alors aisément : l'intense chaleur dégagée par le plasma fait fondre le métal. Pour être tout à fait juste, notons que cet avantage doit être quelque peu relativisé. Un sabre-plasma est chaud et brillant, avons-nous dit. Avez-vous déjà essayé de tenir une simple torche devant vous ? Il est facile d'imaginer que la prudence soit de rigueur lorsqu'on manipule ainsi du feu. Or notre superbe sabre-plasma est au bas mot six à dix fois plus chaud que la flamme de la torche et mille à dix mille fois plus brillant.

Il est inutile d'argumenter longtemps pour se convaincre de tenir le sabre loin du visage afin d'éviter de griller prématurément. La position recommandée par le manuel est de le maintenir à bout de bras, en le pointant en permanence vers l'adversaire…

Dernier argument qui achèvera de vous persuader qu'il n'est peut-être pas raisonnable de vous précipiter dans votre atelier pour construire un sabre-plasma : il n'est pas très sage de confiner magnétiquement quelque chose d'aussi chaud qu'un plasma, car, si la bouteille magnétique est perturbée, le gaz chaud pourrait bien vous arroser. Ce serait fâcheux, car la cuve à bacta n'existe pas encore…

L’Étoile de la Mort

L’Étoile de la Mort est le symbole de la puissance de l’Empire, l’ultime arme de destruction massive. Dotée d’une puissance de feu à même de réduire une planète en poussière, la seule terreur qu’inspire l’*Étoile de la Mort* permet à l’Empire d’imposer son joug.

Quelle est sa taille ?

Cette question est intéressante car, finalement, les dimensions de l’*Étoile de la Mort* ne sont précisées dans aucun des épisodes de *Star Wars*. Toutefois, le dictionnaire de *Star Wars* mentionne qu’elle a un diamètre de 160 km. En tout cas, un fin connaisseur du système solaire peut démarrer son enquête en remarquant une troublante similitude de forme avec Mimas, l’un des nombreux satellites de Saturne. La surface de Mimas, dont le diamètre est de 392 km, est dominée par un grand cratère d’impact de 130 km de diamètre, qui n’est pas sans rappeler la cavité de *Y Étoile de la Mort* d’où est émis son superlaser. La ressemblance est d’ailleurs si frappante que l’on est en droit de se demander si Mimas ne serait pas, en réalité, une *Étoile de la Mort* fossilisée…

Il existe néanmoins des indices qui permettent d'estimer quantitativement son diamètre. Souvenez-vous : Luke Skywalker, apercevant l'*Étoile de la Mort* pour la première fois, la confond avec une « petite lune ». Obi-Wan Kenobi et Han Solo confirment cette observation : elle est aussi grosse qu'une lune et nettement plus importante qu'une station spatiale classique. Dans notre système solaire, les lunes (c'est-à-dire les satellites des planètes) et autres astéroïdes remarquables ont une taille qui varie de quelques dizaines à quelques milliers de kilomètres de diamètre : Cérès, le plus gros astéroïde du système solaire, a un diamètre de 934km ; Ganymède, le plus gros satellite de Jupiter, a un diamètre moyen voisin de 5 276 km ; les plus petits satellites connus de Jupiter et de Saturne ont un diamètre d'environ 20 km. Une comparaison très utile peut être faite entre la seconde *Étoile de la Mort* et la planète Endor, autour de laquelle elle orbite. Pour préparer leur attaque du générateur d'Endor, l'amiral Ackbar commente aux troupes rebelles une image holographique du couple dans la salle de commandement de son vaisseau. Un habile arrêt sur image suivi d'une mesure au double décimètre permet d'estimer que le diamètre de la seconde *Étoile de la Mort* est environ douze fois plus petit que celui d'Endor.

Tout pourrait s'arrêter là. Après tout, le diamètre d'Endor est une unité de distance au même titre que le mètre, le nanomètre ou l'année-lumière. Et, dans cette unité, la réponse à la question initiale est 1/12. Cependant, force est de reconnaître que l'unité « Endor » n'est guère pratique, essentiellement parce que l'on ne peut pas la raccorder à un système d'unité usuel. Les physiciens ont mis plusieurs siècles pour s'accorder et construire un système international d'unités qui leur permette d'échanger et de comparer leurs résultats. Pour connaître la taille de la seconde *Étoile de la Mort* exprimée dans ce système, il suffit de déterminer le

diamètre d'Endor dans une unité déjà connue, le kilomètre par exemple.

Comment répondre à cette seconde question ? En émettant une hypothèse et en faisant un peu de planétologie comparée. La base de la discussion est raisonnable : les rebelles et les impériaux ont une morphologie proche de la nôtre, qui laisse supposer qu'ils sont habitués à une gravité voisine de celle de la Terre. Une fois posé sur Endor, le groupe rebelle se déplace à sa surface sans inconvénients apparents : ils ne progressent ni par bonds, comme les astronautes qui se sont posés sur la Lune, ni par une marche lourde, comme s'ils étaient écrasés par une forte gravité. Cela ne peut signifier qu'une chose : Endor est une planète dont la gravité (et donc la taille) est voisine de celle de la Terre. Et voilà la clé de la solution ! Essayons d'estimer la gravité d'Endor en la comparant avec celle de la Terre ou d'autres planètes du système solaire, et nous aurons une idée de sa taille.

Remarquons d'abord que les rebelles ne portent pas d'appareil pour respirer. Cela signifie deux choses. D'abord, l'atmosphère d'Endor est respirable, sinon il faudrait y être pourvu d'un système autonome de respiration, comme les pompiers intervenant dans un milieu enfumé. Ensuite, sa pression atmosphérique est suffisamment forte, sinon il faudrait être doté d'un masque à oxygène, comme les alpinistes qui gravissent les plus hautes montagnes, où la pression atmosphérique peut être deux fois inférieure à celle du niveau de la mer. De quoi dépend la pression atmosphérique qui règne à la surface d'une planète ? En premier lieu, de sa gravité, qui tire et tasse l'atmosphère vers le sol, mais aussi du volume de gaz que la planète a pu préserver durant son évolution. À titre d'exemple, la planète Mars a perdu son atmosphère initiale en quelques centaines de millions d'années ; avec un rayon de 3 400 km, sa gravité de

surface ne vaut que 38 % de celle de la Terre. Une vie complexe (celle des Ewoks !) ayant pu se développer à sa surface, Endor doit être une planète assez âgée : au bas mot, deux ou trois milliards d'années. Il faut donc que sa gravité ait été suffisante pour retenir une atmosphère assez dense pendant cette durée. Il faut aussi qu'elle soit dotée d'un champ magnétique, dont l'action ralentit considérablement l'échappement atmosphérique. Enfin, la présence d'une atmosphère suffisamment dense est confirmée par le fait que nous voyons les Ewoks voler à l'aide de planeurs rudimentaires. Néanmoins, il faut que la gravité ne soit pas trop forte, pour que la faible surface portante de ces planeurs supporte le poids des petites créatures.

Tous calculs faits, l'ensemble de ces indices converge vers une hypothèse raisonnable : la gravité d'Endor est voisine des deux tiers de celle de la Terre. Si l'on suppose que cette planète a une structure et une densité proches de celles de la Terre, disons de cinq grammes par centimètre cube, alors son rayon vaut environ 70 % du rayon de la Terre, soit à peu près 4 500 km. Cela donne à la seconde *Étoile de la Mort* le diamètre respectable d'environ 750 km, compris entre ceux des deux plus gros astéroïdes du système solaire, Cérès et Vesta. Comme quoi la physique, ça peut servir ! Pour finir, estimons la masse de la chose, cela nous sera utile pour la suite. Réalisée en métal de densité ordinaire, en tenant compte du volume occupé par les espaces vides nécessaires à ses installations et à ses habitants, la seconde *Étoile de la Mort* doit peser de l'ordre de 10^{21} kg, soit 74 fois moins que la Lune…

De quelle quantité d'énergie a-t-elle

besoin ?

Capable de réduire une planète en poussières, l'*Étoile de la Mort* inspire la terreur. La première planète à en faire les frais est Alderande qui, vue de l'espace, semble être une cousine de notre Terre. Une petite enquête va nous permettre de fixer une limite inférieure à la capacité destructrice de l'arme d'extermination planétaire qui équipe l'*Étoile de la Mort*.

Une planète est un corps dont la cohésion est essentiellement assurée par la force de gravitation : à cette échelle de taille et de masse, c'est cette force qui impose sa loi, bien avant les forces nucléaires et presque à égalité avec la force électromagnétique. Détruire une planète signifie séparer toute la matière qui la compose. Pour cela, il faut y injecter de l'énergie, beaucoup d'énergie, plus encore que l'énergie de cohésion due à la gravité. La gravité de la planète n'est alors plus capable de retenir ses constituants. L'énergie de cohésion gravitationnelle est proportionnelle au rapport entre le carré de la masse de la planète et son rayon : une planète de même taille que la Terre mais deux fois plus massive sera quatre fois plus difficile à réduire en poussière, tout comme une planète de même masse mais quatre fois plus petite. En faisant l'hypothèse qu'Alderande est une planète semblable à la Terre (même masse et même taille), son énergie de cohésion gravitationnelle est de l'ordre de 2×10^{32} J (la lettre J signifiant ici « joules »). C'est une quantité d'énergie considérable : la production énergétique annuelle de toute l'humanité est de l'ordre de 4×10^{20} J. Nous ne sommes donc pas près de faire exploser notre planète, même si notre action irraisonnée nous permet d'y mettre un désordre non négligeable…

Pour produire cette énergie, l'*Étoile de la Mort* dispose d'un générateur dont on peut estimer la puissance. En effet,

dans l'épisode IV, l'*Étoile de la Mort* fut capable de produire et de stocker cette énergie en une durée qui semble être de l'ordre de quelques jours, le temps qui sépare la destruction d'Alderande de la bataille de Yavin. Si cela est juste, la puissance fournie par le générateur principal doit être comparable à la puissance totale rayonnée par notre Soleil ! Un soleil dans un vaisseau de la taille d'un astéroïde ? Décidément, *Y Étoile de la Mort* est pleine de surprises…

En fait, la valeur obtenue précédemment n'est qu'un minimum. Dans l'hypothèse où le superlaser fournit tout juste l'énergie de cohésion gravitationnelle, les débris de la planète se répandront dans l'espace à une vitesse voisine de celle qu'une fusée aurait dû atteindre pour échapper à sa gravité. Dans le cas de la Terre, cette vitesse de libération vaut environ 11 km/s. Il faudra donc attendre plusieurs minutes avant de constater les effets de la frappe, et des heures pour que les débris soient raisonnablement dispersés. C'est bien connu, Dark Vador est impatient. Les jolis effets pyrotechniques qu'il aime à contempler depuis son destroyer interstellaire *(Star Destroyer*) ne peuvent être obtenus que si le superlaser fournit une énergie supplémentaire, nécessaire pour assurer aux débris une expansion rapide. Dans l'épisode IV, l'explosion et la dispersion d'Alderande ne prennent pas plus de deux secondes, ce qui laisse supposer que la vitesse d'expansion est bien supérieure à la vitesse de libération. En visionnant le film image par image et en supposant que la taille d'Alderande est égale à celle de la Terre, la vitesse d'expansion des parties externes de la planète peut être estimée : elle est d'environ 10 000km/s. L'énergie de l'explosion vaut alors $6x10^{37}$ J, soit 300 000 fois plus que la limite inférieure fixée précédemment. La valeur réelle de l'énergie à fournir pourrait même être sensiblement plus élevée, car le rendement de la conversion d'énergie lumineuse du superlaser en énergie d'expansion des débris est certainement inférieur à 100 %. Ce rendement

dépend essentiellement de la façon dont l'énergie du laser est injectée dans la planète, ce qui est difficile à estimer. Gardons tout de même à l'esprit l'énormité de l'énergie minimum à fournir. La puissance que produit le générateur principal pour accumuler une telle énergie en quelques jours est tout simplement phénoménale : plusieurs centaines de milliers de fois supérieure à celle rayonnée par le Soleil tout entier… Plutôt pas mal pour un Empire qui va se faire rétamer par des oursons deux épisodes plus tard…

D'où tire-t-elle son énergie ?

Devant l'énormité des chiffres que nous venons d'énoncer, nous sommes en droit de nous demander quel genre de processus peut bien produire une telle puissance. Inutile de penser aux réactions chimiques telles que la combustion de pétrole : il en faudrait plus d'un milliard de milliards de milliards de tonnes… Passons alors à quelque chose qui semble plus efficace. Combien de centrales nucléaires faudrait-il pour alimenter l'*Étoile de la Mort*[7]. Environ cent mille milliards de milliards. Rappelons que la France n'en possède qu'une petite soixantaine (et notons au passage le faible rendement énergétique de nos moyens de production usuels). Puisque le générateur doit produire l'équivalent de l'énergie rayonnée par quelques centaines de milliers de soleils, insérons une étoile idoine à l'intérieur du vaisseau de destruction massive de l'Empire. Seul problème, cette étoile doit avoir une masse au moins dix fois supérieure à celle du Soleil. Un peu gros pour le faire tenir dans notre petite *Étoile de la Mort*… En effet, si les étoiles sont si brillantes, c'est avant tout parce qu'elles sont

très grosses et donc très chaudes.

Dernière solution raisonnablement envisageable par la pauvre technologie terrestre du XXI[e] siècle : faire réagir de la matière avec de l'antimatière. Le rendement énergétique de cette opération est le meilleur possible, car cette réaction transforme toute la masse en énergie. Cet apparent tour de passe-passe résulte en fait de la célèbre loi $E = mc^2$, énoncée par Einstein en 1905 (l'énergie libérée est égale au produit de la masse de réaction par le carré de la vitesse de la lumière). Dans ce cas de figure, produire l'énergie nécessaire à la destruction d'Alderande revient à annihiler l'équivalent de la masse de l'*Étoile de la Mort* avec son équivalent en antimatière… En dehors du difficile problème de stockage de cette quantité d'antimatière, n'oublions pas qu'il faudra produire préalablement cette réserve, car il n'existe aucun stock d'antimatière dans notre Univers. Voilà qui devrait achever de nous convaincre (si nous ne l'étions déjà !) que la technologie de l'Empire est vraiment très en avance sur la nôtre.

En quittant quelque peu les chemins de la physique conventionnelle, il est possible d'esquisser une solution certes un peu tirée par les cheveux, mais tout à fait amusante l'*Étoile de la Mort* tirerait son énergie d'u : trou noir en rotation. Facile, non ? Pour commencer, il faut d'abord fabriquer un trou noir en enfermant suffisamment de matière dans un volume assez petit. Prenons par exemple la matière d'une belle étoile de type solaire et écrasons-la. Tandis qu'il se contracte, le champ de gravité de l'objet augmente. En réalité, grâce à la théorie de la gravité d'Einstein, on sait que l'effondrement d'un astre creuse un puits de plus en plus profond dans la structure déformable de l'espace-temps. Les rayons lumineux émis par l'astre, astreints à se déplacer en épousant les parois du puits, ont de plus en plus de mal

s'échapper. Lorsque la contraction est suffisamment avancée, le puits est devenu si profond que toute la lumière reste emprisonnée : le trou noir est né. En 1915, le physicien Karl Schwarzschild (1873-1916) a montré que l'emprisonnement de la lumière se produit quand le rayon de l'astre est inférieur à un rayon critique proportionnel à sa masse ; pour le Soleil, il vaut environ 1,5 km. Ce rayon délimite une frontière de l'espace-temps qui est en fait une surface indépendante de tout observateur. Purement géométrique et sans consistance matérielle, cette surface est nommée « horizon des événements », car elle partage les événements spatio-temporels en deux catégories. À l'extérieur de l'horizon, il est possible de communiquer entre deux points quelconques, quel que soit leur éloignement, grâce à des signaux lumineux ; c'est l'Univers ordinaire dans lequel nous évoluons. À l'intérieur de l'horizon, les rayons lumineux ne sont plus libres de voyager entre n'importe quels points, car ils sont focalisés vers le centre. La communication est alors soumise à de sévères contraintes. Ainsi, la matière et la lumière peuvent passer du domaine extérieur au domaine intérieur, mais pas l'inverse ; c'est la justification du terme « trou noir ».

Si le trou noir est en rotation, cette structure change quelque peu. En plus de l'horizon des événements, le trou noir est doté d'une nouvelle frontière, appelée « limite statique », qui englobe son horizon des événements. Un hypothétique vaisseau spatial évoluant dans la région appelée « ergosphère », située à l'intérieur de la limite statique et à l'extérieur de l'horizon des événements, n'a d'autre choix de mouvement que de suivre la rotation imposée par le trou noir, tandis que, à l'extérieur de la limite statique, le vaisseau garde intacte sa marge de manœuvre. L'ergosphère joue un rôle capital dans l'extraction de l'énergie de rotation du trou noir. Le physicien anglais Roger Penrose (1931-) a imaginé le mécanisme suivant. Depuis une distance grande par rapport à

la limite statique du trou noir, tirons un projectile en direction de l'ergosphère. Ce projectile est conçu de sorte qu'il puisse se diviser en deux fragments à un moment fixé par l'opérateur. Si la trajectoire initiale est soigneusement choisie, l'un des fragments sera définitivement capturé par le trou noir tandis que l'autre ressortira de l'ergosphère et pourra être récupéré. Penrose a démontré que le projectile pouvait être envoyé de façon que l'énergie du fragment qui revient soit supérieure à celle du projectile initial. Cela impose au fragment capturé de tomber sur le trou noir selon une orbite qui tourne en sens contraire de sa rotation. D'où vient l'énergie récupérée par le fragment qui s'échappe ? Du trou noir ! De son point de vue, le résultat net de l'opération est une augmentation de sa masse et une diminution de son énergie de rotation. Le trou noir en rotation joue donc le rôle d'un gigantesque stock d'énergie dans lequel il est possible de puiser si l'on est assez habile.

Voici donc comment l'Empire pourrait s'y prendre pour alimenter en énergie son *Étoile de la Mort*. Il maintient au centre de celle-ci un petit trou noir de cinquante centimètres de rayon, dont la masse est à peu près cent fois supérieure à celle de la Terre. S'il ne l'était déjà, le trou noir aura préalablement été mis en rotation. En tournant sur lui-même six cent mille fois par seconde, son énergie de rotation est dix fois supérieure à celle d'un seul tir comme celui qui détruisit Alderande. Dans cette configuration, l'*Étoile de la Mort* est donc semblable à un pistolet à dix coups, dont chacun serait capable de détruire une planète. Pour extraire de l'énergie du trou noir, il suffit de profiter de l'immense quantité de déchets que ne manquera pas de produire la formidable garnison qui habite l'*Étoile de la Mort*. Des bennes contenant ces déchets sont larguées en direction du trou noir. Une fois atteint un certain point de l'ergosphère, un mécanisme automatique déclenche l'ouverture de la benne et l'expulsion de son contenu selon une orbite bien calculée : les déchets tombent

sur le trou noir et diminuent légèrement son énergie de rotation tandis que la benne vide ressort de l'ergosphère avec une énergie accrue. Elle est finalement récupérée par un rotor auquel elle transmet son énergie. Le rotor est lié à un générateur de courant et le tour est joué ! Par ce système astucieux, la totalité de la masse des déchets est convertie en énergie récupérée sur l'énergie de rotation du trou noir. Triomphe de l'écologie ! Naturellement, les esprits chagrins feront remarquer qu'il reste à résoudre quelques délicats problèmes techniques. Où se procurer un trou noir, même s'il ne fait qu'un mètre de diamètre ? Comment le maintenir en équilibre au centre de l'*Étoile de la Mort* ? Que faire pour se protéger de son champ de gravité ? Certes. Mais n'oublions pas que les ingénieurs de l'Empire sont vraiment très forts et faisons-leur confiance…

Les véhicules spatiaux

Dans la galaxie de *Star Wars,* les vaisseaux spatiaux abondent et possèdent deux modes de propulsion qui leur permettent non seulement d'évoluer dans une atmosphère ou dans l'espace d'un système planétaire, mais aussi de s'en éloigner suffisamment pour faire un saut dans l'hyperespace afin de franchir les gigantesques distances qui séparent les étoiles. Dans le premier cas, la vitesse du vaisseau est relativement faible, inférieure à la vitesse de la lumière (on parle alors de « vitesse subluminique »). En revanche, le saut dans l'hyperespace permet de dépasser la vitesse de la lumière afin de parcourir les distances interstellaires en quelques jours. Voyons comment pourraient fonctionner ces deux modes de propulsion.

La vitesse subluminique

Le moteur subluminique que l'on trouve couramment dans *Star Wars* est un propulseur ionique, qui équipe aussi bien les intercepteurs impériaux TIE (acronyme de *Twin Ion Engine,* que l'on peut traduire par « moteur à double flux ionique ») que les chasseurs Ailes-A de la rébellion. Il est amusant de constater que cette technologie a déjà été utilisée, dans la

réalité, par deux petites sondes humaines.

La sonde *Deep Space 1,* lancée le 24 octobre 1998 par la NASA, avait pour mission de tester et de valider douze nouvelles technologies spatiales, dont la principale était justement la propulsion ionique. Plus récemment, le 27 septembre 2003, la sonde européenne *Smart 1* quittait la Terre en direction de la Lune, quelle atteignit après un périple de treize mois. L'une des principales missions de *Smart 1* était aussi l'évaluation des performances de la propulsion ionique. Le principe du moteur ionique consiste à ioniser un gaz inerte, comme le xénon, à l'aide d'un fort courant électrique, c'est-à-dire à produire des particules chargées, les ions, au sein de ce gaz. Ensuite, un champ électrique intense accélère les ions produits qui, éjectés par une tuyère, propulsent le vaisseau dans la direction opposée à leur flux. Ce mode de propulsion est très économe : à puissances égales, un moteur ionique consomme dix fois moins de combustible qu'un moteur de fusée classique à base d'ergols. Un peu de xénon, un peu d'électricité fournie par des panneaux solaires par exemple, et le tour est joué. En revanche, la poussée est plus réduite, même si la vitesse d'éjection du gaz propulseur est bien supérieure à celle d'un moteur de fusée conventionnel. Leur poussée est même si faible que le décollage d'une fusée à propulsion ionique est impossible. En revanche, la poussée peut être délivrée durant des années, tandis que les moteurs classiques de fusées, plus puissants, consomment leurs ergols en quelques minutes seulement. Enfin, une fois dans l'espace, le moteur ionique permet de manœuvrer le vaisseau, contrairement aux sondes classiques dont la trajectoire n'est fixée que par les conditions du décollage : jour, heure et direction du tir. Manœuvrer, c'est bien, mais il ne faut tout de même pas être trop pressé : encore une fois, les moteurs ioniques actuels ne produisent que des accélérations assez faibles et sont tout à fait incapables d'exécuter les acrobaties

que réalisent les chasseurs interstellaires de *Star Wars*. Il n'en reste pas moins que, sur ce point, notre technologie est assez peu éloignée de la fiction.

L'hyperespace

Dans *Star Wars,* le moyen le plus rapide pour aller d'un point à un autre est de passer par l'hyperespace, une sorte de raccourci permettant, du point de vue de l'Univers réel, de parcourir une distance fabuleuse en un temps ridicule. Quelle est la nature de cet hyperespace ? Pourrait-ce être un Univers parallèle ? Il est à craindre que la réponse soit négative. En effet, les astrophysiciens définissent concrètement l'Univers comme l'ensemble des choses qu'ils peuvent observer dans leurs instruments. Cet Univers observable est forcément fini, car l'Univers a un âge fini. Dans ce cadre, les Univers parallèles n'ont guère de place. S'ils sont en rapport avec nous, de manière directe ou indirecte, ils font partie de notre Univers observable et doivent perdre le qualificatif de « parallèles ». Si nous ne pouvons ni interagir avec eux ni les observer, on peut en parler sans craindre d'être réfutés, mais le discours à leur sujet n'a alors aucun caractère scientifique et sort du champ de la physique expérimentale.

Si l'hyperespace a du plomb dans l'aile, que peut-on imaginer qui permette d'améliorer les délais imposés par les gigantesques distances interstellaires ? En 1994, le physicien Miguel Alcubierre a proposé un moyen de déplacement original basé sur une bulle d'espace en mouvement transportant son contenu. L'intérêt de cette idée réside dans le

fait que, du point de vue d'un observateur extérieur à la bulle, la vitesse de celle-ci peut être supérieure à celle de la lumière alors que, localement, le voyageur ne se déplace jamais plus vite que la lumière. Voyons comment cela fonctionne.

Dans une théorie publiée en 1915, Einstein montre que la gravitation n'est qu'une manifestation de la courbure de l'espace imposée par la matière qu'il contient. Soumis à la seule action de la gravitation, les corps se déplacent d'un point à un autre en suivant une des lignes de plus court chemin, appelée « géodésique », qui n'est pas toujours une ligne droite. L'espace est donc une entité modelée par son contenu matériel et qui, en retour, fixe la dynamique de la matière. Dans ce cadre, il existe plusieurs moyens pour diminuer le temps de parcours entre deux points. Le premier, qui est aussi le seul auquel nous pensons spontanément, est classique : il faut augmenter la vitesse (pas trop tout de même, c'est dangereux…). Mais avec un espace malléable, une autre solution est envisageable : il suffit de diminuer la distance à parcourir en déformant l'espace pour rapprocher la position à atteindre ! La solution proposée par Alcubierre est une bulle devant laquelle l'espace se contracte et derrière laquelle il se dilate. Cette asymétrie locale de la géométrie de l'espace crée un mouvement vers l'avant sans que l'espace extérieur lointain soit modifié.

Tout semblait parfait jusqu'à ce que le physicien russe Sergueï Krasnikov démontre qu'il est impossible de contrôler cette bulle. La déformation de l'espace est telle qu'un signal lumineux envoyé par un voyageur situé à l'intérieur de la bulle ne peut jamais atteindre sa surface. Si même la lumière ne peut atteindre la surface de la bulle, c'est qu'il est, de fait, impossible de contrôler celle-ci depuis l'intérieur. En particulier, elle ne peut être ni créée, ni arrêtée. Cela est évidemment fâcheux… Krasnikov a donc proposé une autre

solution : plutôt que de former une bulle, il propose de déformer l'espace dans le sillage du vaisseau au fur et à mesure qu'il progresse vers sa destination (en respectant la limite de vitesse galactique officielle !). À l'aller, à une vitesse subluminique, le vaisseau creuse donc une sorte de tunnel dans l'espace-temps. Une fois son but atteint, il l'empruntera au retour. Bien construit, ce tunnel présente un intérêt majeur : pour un observateur terrestre, un voyageur qui l'emprunte peut revenir à un instant arbitrairement proche de son départ, sans toutefois pouvoir revenir avant d'être parti. Du point de vue terrestre, le voyageur semble dépasser la vitesse de la lumière en empruntant le tunnel dans lequel l'espace a été déformé. Le voyageur mesurera, quant à lui, un temps de parcours qui sera d'autant plus court qu'il se déplacera à une vitesse proche de celle de la lumière. En ajustant la déformation de l'espace effectuée lors du voyage aller, le voyageur peut aussi faire en sorte que les temps de voyage mesurés par un observateur terrestre et par lui-même soient égaux. Il faut bien noter que, même si le tunnel de Krasnikov permet de dépasser la vitesse de la lumière du point de vue terrestre, toute la trajectoire aller-retour est bel et bien parcourue à une vitesse localement inférieure à celle de la lumière. Pour résoudre le problème de la durée excessive des voyages interstellaires, il suffit donc d'établir un vaste réseau de ces tunnels de Krasnikov. La construction sera longue, bien sûr, car, pour le construire, il faut préalablement parcourir tout le réseau à vitesse limitée. Une autre difficulté s'est présentée, qui semble plus grave : la construction d'un tunnel nécessite d'utiliser une matière dite « exotique », encore jamais détectée et qui, contrairement à la lumière ordinaire, a une énergie négative. Mais une piste semble se dessiner.

L'observation de notre Univers tend à prouver que, lors de son évolution précoce, il a subi une phase d'expansion

accélérée au cours de laquelle cette matière exotique était prédominante. Lors de cette phase d'inflation, deux points initialement très proches ont été éloignés exponentiellement, ce qui permet d'expliquer que notre Univers soit actuellement quasiment homogène (identique en tout point) et isotrope (identique dans toutes les directions) à grande échelle, comme le confirme l'observation du fond diffus cosmologique (rayonnement lumineux émis il y a 13,7 milliards d'années, au moment où l'Univers en expansion est devenu transparent à la lumière) réalisée par le satellite *WMAP* (*Wilkinson Microwave Anisotropy Probe).* Par ailleurs, des observations récentes semblent montrer que l'expansion de notre Univers va s'accélérant. Étant donné que la matière ordinaire, d'énergie positive, a tendance à ralentir l'expansion, cette accélération n'est explicable que s'il existe encore une quantité non négligeable de cette matière exotique cachée aux confins de l'Univers. Il est probable que les scientifiques qui peuplent l'univers de *Star Wars* aient compris tant de choses sur la nature de l'espace qu'ils soient capables de moissonner cette énergie négative. Quant à nous, il est à craindre que nous ne puissions pas prendre le métro interstellaire avant quelque temps…

Les véhicules terrestres

Le landspeeder

Comment les landspeeders (véhicules servant aux déplacements courants à la surface de Tatooine) peuvent-ils flotter au-dessus du sol sans support apparent ? L'idée la plus simple consiste à doter le véhicule d'un système à coussin d'air, comme ceux qui équipent les aéroglisseurs qui font la traversée de la Manche. Dans ce dispositif, la force qui maintient le véhicule en lévitation résulte d'un fort courant d'air soufflé vers le bas par de puissantes turbines. Pour flotter en permanence, comme le font les landspeeders, il faut bien sûr souffler de l'air en continu et le piéger par une sorte de « jupe » fixée tout autour du véhicule. Deux arguments imparables obligent à abandonner cette séduisante hypothèse. D'abord, aucune jupe n'est montée sur les landspeeders. Ensuite, les nuées de sable que le fort courant d'air devrait soulever sur la désertique planète Tatooine sont totalement inobservables.

Une autre solution consiste à utiliser un dispositif de lévitation magnétique comme ceux des Maglevs, ces TGV expérimentaux japonais qui flottent au-dessus des rails. Dans ce cas, la sustentation est obtenue en opposant, dans le train et sur les rails, des aimants de polarités identiques. L'inconvénient de cette idée est patent : pour se déplacer en flottant au-dessus du sol, il faut suivre des rails dont on ne voit

nulle trace dans le sol de Tatooine.

On peut aussi faire léviter des objets en les plongeant dans un champ magnétique intense ou variant rapidement dans l'espace. Ainsi, des scientifiques ont fait léviter des insectes et même une grenouille, en les plongeant dans un champ magnétique. Pour léviter, la grenouille devait rester à l'intérieur de la toute petite zone d'expérience. Cette contrainte est contraire au principe même du véhicule, qui est fait pour nous amener où bon nous semble.

Si les idées simples et réalisables par notre pauvre technologie du XXIe siècle ne peuvent fonctionner, il faut donc se rabattre sur un concept déjà introduit dans la science-fiction : l'antigravité. Ne serait-il pas possible d'imaginer un dispositif capable de faire écran au champ gravitationnel ? Après tout, une simple cage métallique, dite cage de Faraday, permet de se prémunir totalement des influences électromagnétiques extérieures. Imaginons que nous disposions d'un dispositif capable de masquer le champ de gravité. Montons dessus, branchons-le et hop ! nous « tombons » vers le haut, puisque le champ de gravité situé sous l'engin est annulé. C'est d'ailleurs peut-être ainsi que fonctionnent les tapis volants... Si vous en trouvez un, pensez à comprendre comment il se pilote avant de l'activer, sinon vous risquez d'atteindre le vide intersidéral plus vite que vous ne le souhaiteriez.

Si pour l'instant rien ne vient étayer le fait qu'il puisse exister un moyen de masquer le champ gravitationnel, il reste en revanche possible de créer un champ qui annule localement la gravité de la Terre. Pour comprendre le fonctionnement de ce dispositif, constatons d'abord qu'il y a une grande similarité entre le champ électrique et le champ gravitationnel. Ainsi, le champ électrique d'une charge ponctuelle est radial (c'est-à-dire qu'il rayonne dans toutes les directions) et proportionnel à

la valeur de la charge électrique et à l'inverse du carré de la distance à la charge. Nous savons, grâce à Newton, que le champ gravitationnel d'une masse ponctuelle se comporte de façon semblable : il est radial et proportionnel à la masse et à l'inverse du carré de la distance à la masse. Dans la théorie électromagnétique, le champ électrique est toujours complété par un champ magnétique. Pourquoi ne pas pousser l'analogie jusqu'au bout et compléter la théorie classique de la gravitation en adjoignant au champ de gravité un nouveau champ, analogue au champ magnétique ?

En électromagnétisme, le champ électrique trouve sa source dans les charges électriques, et le champ magnétique est créé par un déplacement de ces charges. Ce phénomène fut découvert en 1820 par le physicien danois Hans Christian Œrsted (1777-1851), qui constata que l'aiguille d'une boussole était déviée par un courant électrique. Notons au passage que cela implique que champ électrique et magnétique ne sont pas aussi différents qu'on le pense. Une charge produit donc un champ électrique et, mise en mouvement, elle crée aussi un champ magnétique qui n'est perçu que par les observateurs ayant un mouvement par rapport à la charge. Le champ magnétique n'est donc pas un champ différent, mais un champ électrique vu depuis un référentiel en mouvement.

Fort de l'analogie entre champs électrique et gravitationnel, osons hardiment affirmer l'existence d'un champ qualifié de « gravitomagnétique », couplé au champ gravitationnel comme le champ magnétique l'est au champ électrique : il trouve son origine dans les mouvements de la matière. L'existence de ce champ peut aussi être fondée sur une base plus solide que celle qu'offre notre analogie. La théorie de la gravitation mise au point par Einstein au début du XXe siècle généralise en effet celle de Newton : elle la contient, celle de Newton se comportant comme un cas limite, celui dans lequel le champ

gravitationnel est faible et les mouvements se font à des vitesses petites par rapport à celle de la lumière. Ces simplifications appliquées à la théorie d'Einstein conduisent aussi à l'apparition de termes de faible amplitude, qui se comportent à la manière du champ magnétique en électromagnétisme. Ainsi, un courant de matière engendre un champ gravitomagnétique qui exerce une force sur les masses, comme le champ magnétique le fait sur les charges. Par exemple, la rotation de la Terre crée un champ gravitomagnétique qui perturbe faiblement le mouvement d'un corps en orbite. Cet effet fut prédit en 1918 par les physiciens autrichiens Joseph Lense et Hans Thirring, et le futur satellite *LAGEOSIII* servira à mesurer avec précision les conséquences de la rotation de la Terre sur l'orbite des satellites.

En 1831, le physicien anglais Michael Faraday (1791-1867) découvrit l'induction électromagnétique en montrant qu'un champ magnétique variable dans le temps engendre aussi un champ électrique. C'est sur ce principe que repose le fonctionnement des plaques de cuisson à induction, dans lesquelles circule un courant électrique variable. Cette idée peut aussi être utilisée pour arriver à nos fins : un courant de matière variable dans le temps crée un champ gravitomagnétique variable qui induira un champ gravitationnel. Comment mettre cela en pratique ? Facile ! Remplissons de matière un tuyau adoptant la forme d'une spirale se refermant sur elle-même (un solénoïde torique !). La matière accélérée dans le solénoïde engendre un champ gravitomagnétique variable qui induit un champ gravitationnel. Correctement orienté, ce dispositif s'oppose au champ terrestre et, si le tout est bien calculé, le champ gravitationnel induit annule le champ terrestre : le landspeeder lévite ! Passons maintenant aux mauvaises nouvelles. Quelle matière mettre dans le tube ? Vu la faiblesse

du champ induit par de la matière ordinaire, il faut absolument prendre quelque chose de vraiment dense, une étoile à neutrons par exemple. Cela risque de poser problème, car la matière d'une étoile à neutrons ne peut garder sa fantastique densité (des milliards de tonnes par centimètre cube !) que si elle reste confinée dans l'étoile. De plus, il faut que l'accélération soit tellement énorme que la matière contenue dans le tube atteindrait la vitesse de la lumière en quelques millièmes de secondes. La prouesse ne durerait donc guère longtemps. Et n'oublions pas : à ces difficultés pratiques s'ajoute le prix prohibitif du kilo d'étoile à neutrons sur les marchés de la Bordure Extérieure…

Le quadripode AT-AT

Les quadripodes de combat font aussi partie des véhicules marquants de la saga *Star Wars*. Énormes éléphants mécaniques, leur taille immense et leur puissance frappent l'ennemi de stupeur, comme les éléphants d'Hannibal stupéfièrent les troupes romaines à la bataille de Cannes. La comparaison s'arrête là car, contrairement aux éléphants, les quadripodes n'avancent qu'une seule patte à la fois. Leur taille est gigantesque et peut être estimée en se fondant sur une séquence de l'épisode V où l'on voit clairement Luke Skywalker grimper le long d'un câble pour attaquer l'un de ces monstres. Un arrêt sur image et un double décimètre montrent que, quinze fois plus grand que le héros, le quadripode doit dépasser 25 m de hauteur. Si l'on exclut la terreur qu'ils peuvent inspirer, il est permis de douter que ces engins soient de bonnes machines de combat. D'abord, ils sont

trop hauts sur pattes. L’essentiel de la masse étant concentrée dans le « corps », leur centre de gravité est placé bien loin du sol. Un quadripode est donc facile à renverser – ce dont les rebelles ne se privent pas avec leurs câbles –, et ne doit pas être bien commode à conduire sur un terrain un peu trop accidenté. Par ailleurs, les articulations des membres sont autant de points faibles que les intercepteurs rebelles peuvent atteindre pour immobiliser l’engin. Enfin, leur taille les contraint sûrement à une mobilité réduite et une attaque par l’arrière ne peut être supportée que grâce à un blindage très épais, qui augmente d’autant le poids de la bête. Avec une taille et une masse si considérables, une chute ne peut avoir que des conséquences catastrophiques. Comme on le voit, l’Empire n’a pas toujours de bonnes idées…

Les planètes

l'Univers de *Star Wars* fourmille de planètes qui se doivent d'être exotiques et originales.

La plupart d'entre elles sont capables d'abriter la vie, même si les conditions qui y lignent peuvent être assez différentes de celles qui prévalent à la surface de notre bonne vieille Terre. Mais ceci nous ramène à la question obsédante qui se pose en trame de fond dans la plupart des œuvres de science-fiction : existe-t-il des systèmes solaires analogues au nôtre dans l'Univers ? La question est longtemps restée purement théorique, même si l'on pouvait supposer qu'il y avait de grandes chances pour que la réponse soit positive, compte tenu du gigantesque nombre d'étoiles. On estime en effet a cinquante milliards le nombre de galaxies à portée de nos télescopes, chacune contenant une bonne centaine de milliards d'étoiles ! Depuis 1996, date à laquelle on a découvert la première planète située en dehors du système solaire, la question a été tranchée : il existe effectivement d'autres systèmes solaires et les considérables efforts de recherche menés à ce jour ont permis de découvrir d'ores et déjà plus de cent soixante planètes extrasolaires.

Grâce à leurs télescopes, les astronomes n'ont pu obtenir l'image directe que d'une seule d'entre elles. En effet, une telle planète n'est visible que parce qu'elle renvoie une partie de la lumière de son étoile ; sa luminosité est donc quelques centaines de millions de fois plus faible que celle de l'étoile en question. Aussi est-elle extrêmement difficile à percevoir, car

elle est noyée dans la lumière de son étoile. Comment les astronomes ont-ils donc procédé pour découvrir ces planètes ?

La première méthode est fondée sur le fait qu'une planète en orbite autour d'une étoile affecte le mouvement de cette dernière et perturbe sa trajectoire : l'étoile effectue alors des ondulations qui peuvent être détectées par les effets qu'elles induisent sur la lumière que nous en recevons. Quand l'étoile s'approche de nous, sa lumière nous apparaît plus bleue que si elle était au repos ; à l'inverse, quand elle s'éloigne de nous, sa lumière apparaît plus rouge. En mesurant simultanément la valeur de ce décalage périodique et la période du mouvement, il est possible de calculer la masse et les paramètres orbitaux de la planète qui est à l'origine de ces perturbations. La difficulté de la mesure réside dans la faible valeur de la vitesse radiale (projection de la vitesse réelle de l'étoile sur la direction de visée) induite par la présence de la planète : pour une étoile de type solaire, elle vaut 13 m/s avec une planète comparable à Jupiter et moins de 0,1 m/s si elle est comparable à la Terre. C'est pourtant grâce à cette méthode, qui nécessite l'utilisation d'instruments très spécialisés, que la plupart des exoplanètes ont été découvertes. La sensibilité des instruments utilisés ne permet de détecter, pour l'instant, que des planètes dont la masse est supérieure à une dizaine de fois la masse de la Terre.

Une seconde méthode consiste à analyser finement les variations de luminosité d'une étoile soupçonnée d'être entourée d'un cortège planétaire. En passant devant le disque de son étoile, une planète produit une mini-éclipse qui fait temporairement baisser la luminosité de l'astre. Cette diminution est de l'ordre de 0,01 % s'il s'agit d'une planète de la taille de la Terre et peut atteindre 2 % pour une planète plus grosse que Jupiter. L'observation continue de la luminosité d'une étoile permet de repérer la période et l'intensité de cette

baisse de luminosité et d'en déduire les paramètres et l'orbite de la planète.

Le but ultime de ces recherches systématiques est bien sûr de détecter d'éventuelles planètes dont la masse serait voisine de celle de la Terre. L'étape suivante, déjà en cours d'étude, sera d'analyser l'atmosphère de la planète en question pour y déceler d'éventuelles traces de vie. La découverte d'une vie extraterrestre est peut-être pour demain !

Tatooine

Impossible de commencer ce petit tour des planètes de la galaxie *Star Wars* sans évoquer Tatooine, célèbre repaire de brigands galactiques de tout poil sur lequel règne le fameux et puissant Jabba le Hutt. Vous avez sûrement remarqué que cette planète a pour particularité de posséder deux soleils. Force est de constater que cette propriété n'est pas si improbable qu'on pourrait l'imaginer : les étoiles doubles sont en effet légion dans notre Galaxie, les deux tiers des étoiles visibles à l'œil nu faisant partie d'un système double ou multiple. Le problème n'est donc pas de trouver une étoile double, mais de comprendre quelle peut être l'orbite de Tatooine dans un tel système. Et les possibilités sont nombreuses…

Pour commencer, Tatooine pourrait tourner autour d'un seul de ses deux soleils. Cette situation doit être envisagée, car les astronomes ont récemment démontré que l'étoile 16 Cygni B possède une planète géante alors que son compagnon, 16 Cygni A, en est dépourvu. Pourtant, cette hypothèse est peu

vraisemblable car, dans l'épisode IV, Luke voit se coucher les deux soleils de Tatooine en même temps, dans des directions et avec des tailles apparentes voisines. Si Tatooine tournait autour d'un seul de ses soleils, il serait assez rare de les voir simultanément dans le ciel, *a fortiori* dans des directions proches. De plus, si l'on suppose que les tailles de ces deux étoiles sont comparables, le soleil le moins éloigné apparaîtrait plus grand que l'autre étoile. En revanche, si elles n'ont pas la même taille, la plus grosse pourrait fort bien apparaître de même taille que l'autre si elle est plus lointaine. Ce serait le cas, par exemple, si la seconde étoile était une géante rouge. L'inconvénient de cette hypothèse est que les étoiles géantes ont une durée de vie de quelques dizaines de millions d'années tout au plus, soit nettement moins que les étoiles communes, ces dernières, dont notre Soleil, pouvant vivre durant des milliards d'années. Il semble donc peu probable qu'une planète habitable ait le temps de se former autour d'une étoile géante.

Une autre possibilité consisterait à placer Tatooine à des emplacements précis, appelés « points de Lagrange L4 ou L5 » des deux étoiles. Les points de Lagrange, ainsi nommés en l'honneur de leur découvreur, l'astronome Joseph-Louis Lagrange (1736-1813), désignent les cinq positions pour lesquelles la force de gravité des deux astres est exactement compensée par la force centrifuge due au mouvement orbital d'une planète qui s'y trouverait placée. Les trois premiers de ces points, L1, L2 et L3, placés exactement sur la ligne joignant les centres des deux étoiles, correspondent à des positions d'équilibre instable. Autrement dit, un objet qui se trouve en un tel point s'en éloignera sous l'effet de la moindre perturbation. Il est donc impossible qu'une planète y demeure durablement. Les deux autres points, L4 et L5, qui forment chacun un triangle équilatéral avec les deux étoiles, correspondent, eux, à des positions d'équilibre stable. Autrement dit, un corps placé en l'un de ces points y demeure,

même s'il est soumis à une force perturbatrice. Par exemple, les points L4 et L5 du système Soleil-Jupiter abritent des astéroïdes, les Troyens. Cette solution ne peut être envisagée dans le cas de Tatooine car, si tel était le cas, depuis sa surface, on devrait toujours voir les soleils jumeaux séparés de 60°, mesure de chacun des angles d'un triangle équilatéral. La position des soleils lors de leur coucher, observée depuis la surface de Tatooine, montre donc qu'il n'en est rien.

En définitive, il est plus probable et plus raisonnable que l'orbite de Tatooine englobe les deux soleils à la fois. Ce genre d'orbite est stable si la distance qui sépare la planète de ses soleils est au moins quatre fois plus grande que celle qui sépare les deux étoiles. Tout se passe alors comme si, du point de vue de la planète, les étoiles ne faisaient qu'une. Dans cette configuration, on peut même estimer le rayon de l'orbite de Tatooine. Les deux étoiles sont probablement assez semblables à notre Soleil : l'une est jaune, comme lui, l'autre est orange, laissant supposer qu'elle est un peu plus froide. Si elles sont trop proches l'une de l'autre, leurs gravités mutuelles leur donnent alors une forme de sphère aplatie. Comme on ne voit aucune déformation lors du coucher des étoiles, cela implique, après un rapide calcul, que leur distance doit être supérieure à une dizaine de millions de kilomètres. L'estimation de leur séparation angulaire lors de leur coucher nous permettra de préciser le rayon de l'orbite de Tatooine. Si l'on suppose que le diamètre apparent des deux étoiles est voisin de celui de notre Soleil, soit 0,5°, un arrêt sur image permet d'estimer que leur séparation est très certainement inférieure à 3°. Voici un exemple d'emplacement cohérent pour une planète désertique comme Tatooine. À deux cent millions de kilomètres, une planète aurait une orbite stable et verrait ses soleils séparés d'au plus 3°. En outre, elle recevrait 10 % d'énergie de plus que celle que reçoit la Terre, ce qui expliquerait la température élevée qui règne à sa surface. Son

année serait alors égale à 1,1 année terrestre et l'on devrait pouvoir y observer d'intéressants effets de marées ainsi que de spectaculaires éclipses…

Dernier point, ne vous abandonnez pas à un romantisme béat lorsque vous reverrez le célèbre coucher du double soleil de Tatooine : n'oubliez pas que nous sommes bel et bien dans un film de fiction. La preuve ? Observez le sol aux pieds des habitants de la planète : on n'y voit qu'une seule ombre !

Naboo

Dans l'épisode I, nous découvrons les Gungans, un peuple étonnant dont Jar Jar Binks est le plus célèbre représentant. Voilà une civilisation qui utilise des bêtes de somme pour le transport, des lances et des catapultes en guise d'armes de combat, mais dont la capitale est une incroyable cité sous-marine. En outre, celle-ci est certainement située à une grande profondeur, car la lumière du soleil de Naboo ne parvient pas à l'illuminer. Et pour cause : la lumière visible est fortement absorbée par l'eau ; une faible fraction atteint 100m de profondeur et la nuit noire règne au-delà de 500m. C'est pourquoi les quelques tentatives humaines pour implanter une base sous-marine permanente ont toujours privilégié une faible profondeur, de l'ordre de 10 à 20m, afin de profiter de la lumière solaire.

Située à une grande profondeur, la cité Otoh Gunga offre au visiteur le spectacle féerique de milliers de lumières illuminant sa nuit perpétuelle. Pour se protéger de la pression considérable qui règne à ces profondeurs (de dix à cinquante

fois supérieure à celle qui règne à la surface de la planète), les Gungans disposent d'un bouclier plutôt énigmatique : bien qu'il soit totalement étanche pour l'eau environnante, le corps humain, composé à 70 % d'eau, peut le traverser sans difficulté. Le même type de bouclier est utilisé lors de la bataille qui, dans les plaines de Naboo, oppose les Gungans aux forces de la Fédération du Commerce. Là encore, le mystère est total : le bouclier, transparent à la lumière du soleil de Naboo, reste imperméable aux projectiles des tanks et des droïdes de la Fédération ; tandis qu'il est capable d'arrêter de puissants tirs d'assaut, il peut être traversé à pied par un simple droïde de combat. La technologie des Gungans est décidément pleine de surprises ! Et la physique du XXI[e] siècle est bien loin d'être à même de savoir comment 011 pourrait construire un tel bouclier de protection…

La structure de la planète recèle aussi une belle surprise. Pour se rendre de la cité Gungan à la capitale de Naboo, Anakin et Qui-Gong Jin empruntent un raccourci sous-marin qui passe par le « noyau de la planète ». Or il semble fort improbable que nos valeureux amis soient réellement passés par le centre de la planète Naboo : les régions internes d'une planète ne sont pas remplies d'eau, mais de roche en fusion ; au centre, il règne une pression trois cent milliards de fois supérieure à celle de la surface et la matière reste solide malgré une température de 5 800°C Difficile d'imaginer un raccourci passant par un tel endroit… Il est donc probable que le nom du trajet emprunté par les Jedi fasse allusion aux profondeurs abyssales que doit atteindre leur sous-marin, ce qui laisse imaginer que l'on se rapproche du centre de la planète. De ce point de vue, la situation est similaire à celle du professeur Lidenbrock qui, dans son *Voyage au centre de la Terre,* atteint des profondeurs plus modestes que celles que suggère le titre du roman de Jules Verne.

Géonosis

Dans l'épisode II « La guerre des clones », tandis qu'il poursuit Jango Fett, Obi-Wan Kenobi approche de la planète Géonosis. Ils pénètrent alors dans une ceinture d'astéroïdes en orbite autour de la planète. Au premier abord, cet anneau paraît fort semblable à celui que l'on trouve, dans notre système solaire, non seulement autour de la planète Saturne, mais aussi autour des trois autres géantes que sont Jupiter, Uranus et Neptune.

Pourtant, certains détails clochent. Obi-Wan et Jango Fett doivent en effet faire des prouesses de pilotage à bord de leurs vaisseaux pour éviter de percuter l'un des énormes blocs rocheux de la ceinture planétaire, ce qui semble logique ; mais avec un environnement tellement dense, pourquoi n'assiste-t-on pas à de nombreuses collisions entre astéroïdes ? Celles-ci auraient un double effet. Tout d'abord, les astéroïdes se fragmenteraient sous le choc, ce qui aurait pour conséquence de faire diminuer leur taille moyenne ; petit à petit, les énormes blocs seraient réduits en fine poussière. Ensuite, certains des astéroïdes quitteraient leur orbite sous l'effet des nombreuses perturbations induites par leurs voisins, soit en s'échappant définitivement de l'attraction de la planète Géonosis, soit, au contraire, en y tombant à grande vitesse.

Les images du film permettent d'estimer la densité et la taille des astéroïdes de la ceinture de Géonosis et donc la fréquence probable de leurs collisions. La conclusion est impitoyable : en quelques milliers, voire quelques centaines d'années, la grande majorité d'entre eux devrait avoir atteint une taille variant entre celle d'une poussière et celle d'un gros caillou. C'est d'ailleurs ce que l'on observe dans les anneaux de Saturne, constitués de particules dont la taille varie du

centimètre au mètre. De plus, le diamètre respectable de ces anneaux (250 000 km) ne doit pas faire oublier que leur épaisseur ne dépasse guère 1 km. Cela explique que les quelques sondes interplanétaires qui les ont traversés n'aient subi aucun dommage.

D'où peut bien venir l'anneau de Géonosis ? Deux théories ont été avancées pour expliquer l'origine des anneaux de Saturne. La première, proposée par Édouard Roche (1820-1883) au XIXe siècle, fait l'hypothèse qu'ils proviennent d'une ancienne lune de Saturne. Passant trop près de la planète, celle-ci aurait été mise en morceaux par les forces de marée induites par la présence de son énorme planète mère. Une variante suppose que la lune ait été désintégrée par l'impact d'une grosse comète ou d'un astéroïde. La seconde théorie propose que les anneaux soient des restes de la nébuleuse protoplanétaire dont a émergé Saturne. Cette hypothèse semble peu probable, car on pense que les anneaux sont trop instables pour avoir perduré durant les 4,6 milliards d'années qui nous séparent de la naissance du système solaire.

De ce point de vue, certains anneaux de Saturne, essentiellement constitués de poussières, posent un problème particulier. Les particules qui les constituent sont si petites qu'elles sont sensibles non seulement à la gravitation de la planète, mais aussi à la pression du rayonnement solaire. Or cette lune supplémentaire les élimine rapidement, ce qui impose que les anneaux en question soient alimentés en permanence, par exemple par des impacts de météorites sur des satellites ou par des collisions entre des corps plus gros. Tout cela indique que les anneaux de Saturne sont relativement jeunes par rapport à la planète et qu'ils ont peut-être été détruits et reformés plusieurs fois durant la vie du système solaire.

Ainsi, si la ceinture de Géonosis contient encore de gros

astéroïdes, c'est qu'elle est de formation très récente. Peut-être avait-elle une lune sur laquelle l'*Étoile de la Mort* ou une arme de puissance similaire a testé son pouvoir de destruction…

Kamino

Lorsque, toujours dans l'épisode II, Obi-Wan Kenobi atterrit sur Kamino, il découvre une planète-océan où d'étranges créatures vivent dans des cités flottantes. Est-il possible d'imaginer un monde aquatique comme celui-là ?

Même si, dans leur la grande majorité, les planètes découvertes jusqu'à présent en dehors du système solaire ont une masse importante, voisine de celle de Jupiter, cela n'a pas empêché les astrophysiciens d'imaginer à quoi pourrait ressembler une planète extrasolaire de type terrestre. Ils ont en particulier envisagé la possibilité d'une planète complètement recouverte d'eau.

Pour former une planète-océan, les chercheurs ont proposé un scénario fondé sur l'évaporation d'une géante gazeuse de la taille de Neptune, qui se serait formée près de son étoile. Cette possibilité semble plausible si l'on en croit la répartition des cent soixante planètes extrasolaires découvertes à ce jour. Une fois l'épaisse atmosphère évaporée sous l'effet du rayonnement de l'étoile, une partie du manteau de glace aurait fondu, entraînant la formation d'un immense océan dont la profondeur moyenne atteindrait vingt-cinq fois la profondeur moyenne des océans terrestres. La pression au fond de celui-ci resterait suffisante pour qu'une partie du manteau demeure à

l'état solide (en effet, lorsque la pression augmente, la température de fusion augmente également). Selon les calculs, la structure interne d'une planète aquatique consisterait en un noyau métallique d'un rayon d'environ 4 000 km ; au-dessus, un manteau rocheux d'une épaisseur de 3 500 km, puis un second manteau constitué de glace et pouvant atteindre une épaisseur de 5 000 km, le tout étant recouvert d'un océan d'une centaine de kilomètres de profondeur. D'après ce scénario, une planète-océan pourrait donc être environ deux fois plus grande et six fois plus massive que notre planète. Elle serait séparée de son étoile d'une distance voisine de celle qui sépare la Terre du Soleil et sa gravité de surface serait 1,5 fois supérieure à celle de notre planète. Cela ne ressemble pas à la planète Kamino. En effet, l'épisode II permet de conclure qu'elle est dotée d'une gravité plutôt faible, ce qui permet aux créatures au long cou de maintenir leur tête en équilibre sans trop de peine. Étant donné l'avance technologique de ces êtres, il est aussi envisageable de penser qu'ils puissent agir sur la gravité de leur habitat ; mais cette hypothèse est à rejeter car, dans ce cas, Obi-Wan aurait été surpris par le changement de pesanteur en arrivant sur leur plate-forme. Les astrophysiciens se seraient-ils trompés dans leurs calculs ? En tout cas, deux missions spatiales, « Corot », réalisée par le Centre national d'études spatiales, et « Kepler », réalisée par la NASA, vont prochainement être lancées dans le but de détecter des exoplanètes de type terrestre. Peut-être ces missions réussiront-elles à découvrir une planète-océan !

Une planète de ce type pourrait-elle abriter la vie ? L'eau étant un élément essentiel au développement de la vie telle que nous la connaissons, ce pourrait être un endroit idéal pour la voir apparaître. L'une des théories sur l'origine de la vie est fondée sur la présence de sources chaudes dans les fonds océaniques, consécutives à une activité volcanique comparable à celle donnant naissance aux sources hydrothermales que l'on

trouve dans les profondeurs des océans terrestres. Cette hypothèse semble devoir être abandonnée, car, sur une planète aquatique, 5000 km de glace séparent le fond de l'océan de toute source hydrothermale potentielle. Il reste néanmoins toujours possible qu'une forme de vie apparaisse au niveau de la surface de l'eau.

Le seul moyen de savoir si la vie existe sur les planètes aquatiques sera peut-être d'attendre l'étude qu'en fera la mission « Darwin » : elle sera constituée d'une flottille de sept satellites lancés par l'Agence spatiale européenne vers 2014, et tentera de découvrir des indices de vie dans les atmosphères de toutes les exoplanètes découvertes. Pour avoir une réponse, un peu de patience est nécessaire…

Mustafar

Le duel final de l'épisode III, « La revanche des Siths », opposant Obi-Wan Kenobi à Anakin Skywalker, se déroule dans le décor grandiose et incandescent de la planète Mustafar. Couverte de volcans en éruption et de fleuves de lave, Mustafar est une bonne approximation de l'enfer. Peut-on envisager l'existence d'une telle planète ?

Dans sa prime jeunesse, la Terre, tout juste formée, était encore très chaude et son sol mal refroidi devait être encore liquide par endroits. Cette situation résultait des nombreuses chutes d'astéroïdes qui, en s'accumulant, finirent par constituer notre planète. De surcroît, on suppose que la Lune s'est formée lors d'une collision entre la Terre primitive et un corps de la taille de Mars. Le formidable impact a

certainement transformé notre planète en un vaste champ de magma. De ce point de vue, Mustafar pourrait donc être une toute jeune planète en train de se remettre des affres de sa naissance.

Seconde solution : Mustafar serait le théâtre d'une activité géologique exceptionnelle. Les géologues ont montré que la Terre avait aussi subi un épisode d'intense activité volcanique il y a plus de soixante-cinq millions d'années. L'immense plateau basaltique du Deccan, en Inde, dont l'épaisseur varie de 1 à 2 km, s'est formé durant cette période, en raison de l'ouverture d'énormes failles, dont les plus importantes dépassaient 400 km de longueur. Des fontaines de lave dépassant 1 km de hauteur ont déversé, durant plusieurs années, des millions de kilomètres cubes de basalte ! Vu de l'espace, le Deccan a d'ailleurs dû, comme Mustafar, ressembler à un phare durant des milliers d'années, à cause des très massives éruptions qui le ravageaient.

Enfin, une troisième solution est envisageable. La Terre n'est pas le seul endroit du système solaire où l'on peut observer des volcans actifs. Io, l'un des gros satellites de Jupiter, est lui aussi le siège de spectaculaires éruptions volcaniques. Mais aucune autre planète n'a une activité interne suffisamment intense pour entretenir pareil phénomène. Comment l'expliquer ?

Io a une orbite qui reste proche de Jupiter, aussi son volcanisme résulte-t-il des gigantesques forces de marée qu'exerce la planète géante sur son frêle satellite. Sur Terre, la force de marée lunaire soulève les océans de plusieurs mètres parfois et la croûte rocheuse d'environ trente centimètres. Sur Io, dépourvue d'océan, la marée de Jupiter soulève le sol d'environ cent mètres ! Ces mouvements produisent de la chaleur par le frottement qui s'exerce alors entre les couches internes. Certains panaches des éruptions volcaniques d'Io ont

été observés depuis la Terre et montent jusqu'à plus de 300 km de hauteur, avec une vitesse d'éjection pouvant atteindre 3500 km/h. L'orbite d'Io traverse également le champ magnétique de Jupiter, ce qui génère un courant électrique dissipant une puissance supérieure à mille milliards de watts. Il entraîne au loin des atomes provenant d'Io au rythme d'une tonne par seconde. Ces particules forment autour de Jupiter une sorte de boudin qui rayonne intensément dans l'ultraviolet. Les particules qui s'échappent de ce boudin sont partiellement responsables de la magnétosphère exceptionnellement étendue de Jupiter. Mustafar pourrait donc être un satellite d'une planète géante. Son orbite aurait un rayon si faible que Mustafar se trouverait littéralement broyée par l'action des forces de marée de sa planète mère. Quoi qu'il en soit, voilà un endroit où il ne fait pas bon mettre les pieds…

Quel bilan ?

Nous voici donc arrivés au terme de notre brève excursion scientifique dans l'univers de *Star Wars*. En plus de cette œuvre emblématique, de nombreux autres films tels que *Spiderman, Total Recall, Armaggedon, Contact* ou *Terminator* offriraient également d'intéressantes bases de travail. Et, au-delà du cinéma, d'autres supports se prêtent bien à ce genre d'analyse, comme la bande dessinée, l'art en général ou les ouvrages de science-fiction. Dans tous les cas, l'enquête que l'on peut alors mener n'est pas sans rapport avec le travail du chercheur qui échafaudé des modèles fondés sur des hypothèses et des théories déjà validées avant de les confronter aux faits expérimentaux. Il se rapproche même tout à fait du travail de l'astrophysicien qui n'a pratiquement que la lumière à sa disposition pour étudier les astres qu'il observe. Comme le spectateur devant son écran, il voit se jouer devant lui une réalité hors d'atteinte et sur laquelle il s'interroge. De plus, l'astrophysicien fait l'hypothèse implicite que la réalité qu'il observe obéit aux mêmes lois que le monde terrestre, ce qui ne va pas de soi. Il s'agit là de l'héritage de Galilée qui, contredisant vingt siècles de physique aristotélicienne, fut le premier à affirmer l'identité des lois du Ciel et de la Terre, posant ainsi les fondements de l'étude de l'Univers par l'étude des lois terrestres.

Mais si l'Univers de *Star Wars* obéit aux mêmes lois que le nôtre, que nous manque-t-il pour égaler les exploits auxquels on y assiste ? Au-delà des difficultés techniques propres à la

réalisation d'un instrument fonctionnel, que ce soit une voiture, un sabre-laser ou un vaisseau spatial, la différence se situe surtout dans la capacité à maîtriser une grande quantité d'énergie. En physique, l'énergie est le moyen d'agir sur les choses et île les transformer. L'évolution technique de l'espèce humaine est étroitement liée à sa maîtrise de diverses formes d'énergie. La découverte du feu, il y a environ 400 000 ans, marqua le début de cette évolution qui aboutit, vers le milieu du XXe siècle, à la maîtrise de l'énergie nucléaire. La consommation énergétique humaine, et donc sa production, augmente d'environ 1,5 % par an depuis les années 1960 et les spécialistes estiment qu'elle a été multipliée par au moins 100 entre le début de la révolution industrielle et aujourd'hui. Multiplier par 100 ou 1 000 la production actuelle d'énergie donnerait probablement à l'humanité la possibilité de partir vers les étoiles, ou tout au moins de coloniser le système solaire. Mais, au vu des difficultés énergétiques annoncées avec la disparition inéluctable des combustibles fossiles, ce n'est certainement pas pour demain…

En 1964, le physicien russe Nikolai Kardashev a tenté de classer les civilisations avancées en trois catégories, de type I à III selon l'ordre croissant de leur niveau de maîtrise de l'énergie. Dans une civilisation de type I, cette maîtrise est d'ampleur planétaire. Une telle civilisation contrôle la plupart des formes d'énergie (énergie fossile, fission et fusion nucléaire, biomasse, énergies hydroélectrique, marémotrice, géothermique, éolienne, solaire, etc.) et les utilise à très grande échelle. Sa production totale d'énergie est de plusieurs milliers à plusieurs millions de fois supérieure à la nôtre. Cela lui donne la capacité de contrôler le climat, d'agir volontairement sur l'ensemble de la biosphère ou de modifier l'activité tectonique. Notre production actuelle d'énergie en est loin, ce qui nous classe dans une civilisation de type 0, même si l'humanité commence à rivaliser avec les forces de la nature au point de

modifier profondément, mais de façon plutôt désorganisée, la biosphère terrestre. Il est vraisemblable qu'après plusieurs milliers d'années d'évolution, une civilisation de type I aura totalement épuisé l'énergie de sa planète et devra puiser ses ressources directement dans son étoile, seule source importante et durable dans son coin de galaxie. Une civilisation capable de capter l'essentiel de l'énergie de son étoile accède au deuxième rang du classement de Kardashev et produit des millions de fois plus d'énergie qu'une civilisation de type I. Pour atteindre ce but, le physicien américain Freeman Dyson a proposé d'utiliser la matière d'une grosse planète, comme Jupiter par exemple, pour construire une colossale sphère autour de l'étoile afin d'en capter toute la lumière. Une partie de la surface interne de ladite sphère, si elle est mise en rotation, pourrait d'ailleurs être utilisée comme habitat par une innombrable population. C'est d'ailleurs sur un artefact de ce genre, nommé Omale, que l'auteur de science-fiction Laurent Genefort place une série d'aventures. À ce stade, l'activité de cette civilisation devient visible depuis l'espace, car la surface externe de la sphère de Dyson doit émettre un peu de rayonnement infrarouge. Dyson a même proposé aux astronomes de chercher spécifiquement les émissions infrarouges (plutôt que radio) pour identifier ces civilisations de type II. Disposant d'une gigantesque quantité d'énergie, une civilisation de ce type a bien sûr complètement colonisé son système solaire et entrepris le voyage interstellaire. La seule menace qui pourrait sérieusement l'inquiéter serait l'explosion soudaine d'une supernova proche, qui pourrait dévaster son système solaire.

Au bout de quelques milliards d'années, l'énergie d'une étoile ordinaire est épuisée. Cela laisse amplement le temps d'entreprendre la colonisation de la galaxie et d'accéder au troisième rang de la classification de Kardashev. Mais, avant d'y parvenir, une civilisation de type II pourrait gagner du

temps en rajeunissant son étoile ! Dans une étoile semblable au Soleil, les ennuis commencent quand l'hydrogène vient à manquer en son centre. Il en reste pourtant encore des quantités considérables, puisqu'à ce moment l'étoile n'a encore brûlé que les 10 % les plus internes de ses réserves totales. Pour raviver la flamme intérieure, on pourrait donc injecter du combustible frais depuis la périphérie vers le centre en « remuant » l'intérieur de l'étoile. Pour obtenir cet effet, il « suffirait », à l'aide de puissants lasers, d'injecter de grandes quantités d'énergie à l'intérieur de l'étoile pour la chauffer et y induire de vastes mouvements de convection, évidemment, l'énergie nécessaire à un tel projet est colossale et l'injection doit être brève, sous peine de ne pas obtenir l'effet escompté. Il faut donc disposer d'une autre source que le Soleil lui-même, dont le débit d'énergie est trop lent, et se résoudre à faire fusionner de façon explosive une bonne partie de la masse d'une planète géante comme Jupiter… Si toutefois on parvenait à faire fusionner encore 10 ou 20 % de la masse du Soleil, sa vie serait prolongée de dix à vingt milliards d'années… ce qui donnerait vraiment le temps de voir venir !

Quant à la civilisation de type III, avec sa maîtrise de l'énergie de plusieurs millions d'étoiles pour alimenter sa consommation, aucune catastrophe imaginable n'est capable de la détruire.

Combien de temps faut-il pour atteindre une civilisation de type II ou de type III ? La réponse à cette question est évidemment difficile à donner. Mais constatant qu'une croissance annuelle de notre consommation d'énergie de 1 % durant trois mille deux cents ans suffit à atteindre la puissance émise par le Soleil, il se pourrait bien que cette réponse soit : « Moins longtemps que prévu. » Un obstacle majeur à la naissance d'une civilisation de type III se dresse néanmoins, sous la forme d'une loi intangible de la physique : la vitesse de

la lumière dans le vide est une limite absolue, qui impose des difficultés considérables concernant les voyages et les communications interstellaires, la gestion d'un empire galactique devient alors très problématique… Dyson estime que cela pourrait retarder la transition vers le niveau III de quelques millions d'années. Les protagonistes de *Star Wars* font certainement partie d'une civilisation de type II en transition vers le type III, comme l'indique, par exemple, l'énergie dont dispose l'*Étoile de la Mort*.

La maîtrise d'une telle quantité d'énergie confère des pouvoirs qui, pour nous, semblent quasi divins. Mais on constate, une fois de plus, que les grandes responsabilités associées aux grands pouvoirs ne sont pas toujours bien assumées…

Bibliographie

Lawrence Krauss, *La Physique de « Star Trek » ou Comment visiter l'Univers en pyjama,* Bayard, 1998.

Roland Lehoucq, *D'où viennent les pouvoirs de Superman ? Physique ordinaire d'un super-héros,* EDP Sciences, 2003.

Jean-Pierre Luminet, *Les Trous noirs,* Belfond, 1987 ; Le Seuil, coll. « Points Sciences », 1992.

Les sites internet consacrés à *Star Wars* :

http ://www.starwars.com/

http ://www.theforce.net/

http ://exn.ca/starwars/home.cfm

Le site internet consacré au monde d'Omale :

http ://www.omale.biome.net/

La conférence du Collège de la cité des sciences et de l'industrie du 7 mars 2006 a inspiré ce livre.

Achevé d'imprimer sur les presses de l'imprimerie Darantiere
à Dijon-Quetigny en octobre 2005

N°d'éditeur : 0259-02/1
N°d'impression : 25-1434
Dépôt légal : octobre 2005

Imprimé en France